LES BATEAUX EN CIMENT ARMÉ

Par Charles VIRETON

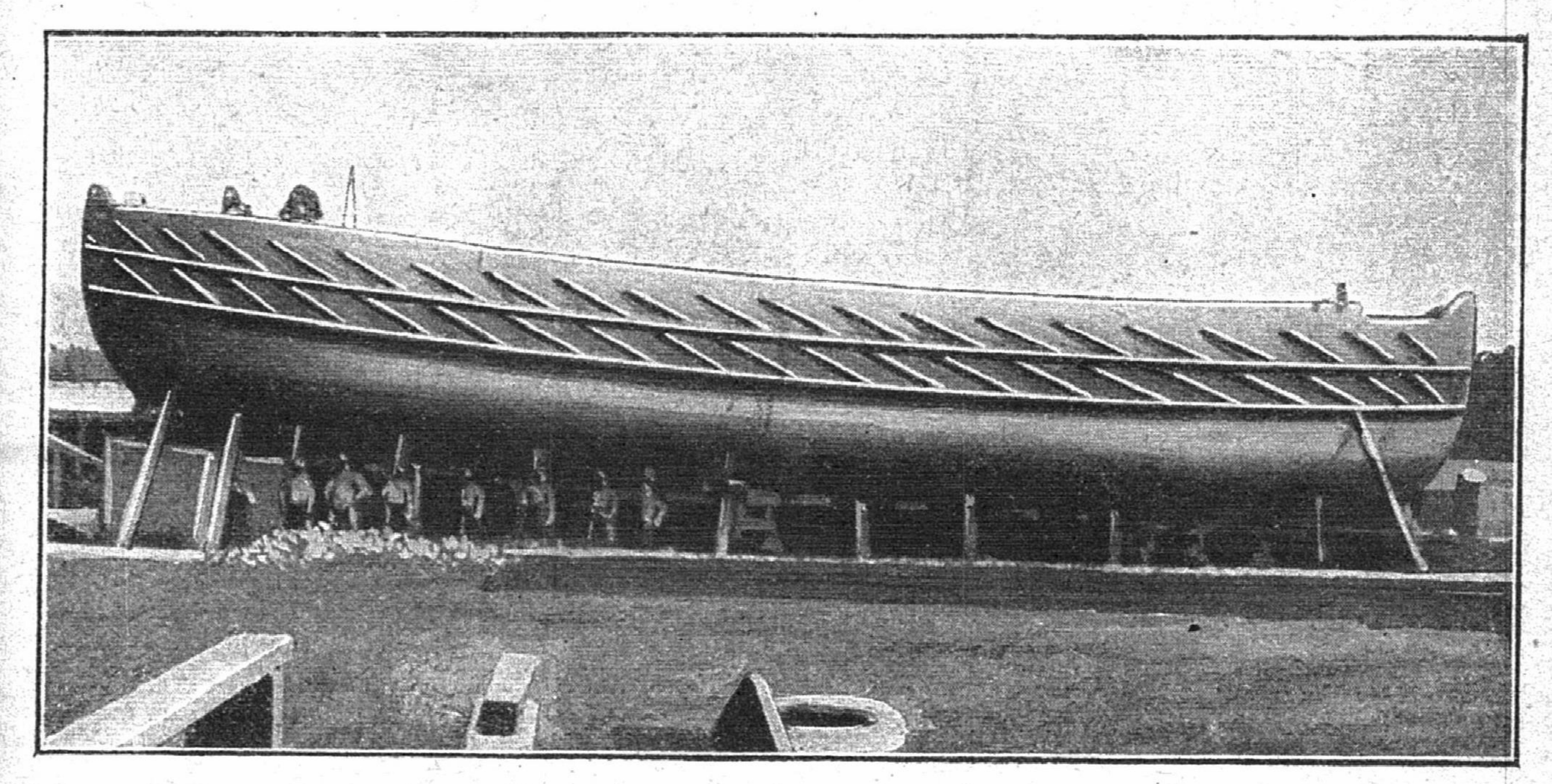
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

Pour combler les vides créés dans les marines commerciales des Alliés par la guerre sous-marine ou par l'usure normale des coques, il faut construire des bateaux en grand nombre à un moment où les ressources de la métallurgie sont entièrement appliquées à la fabrication du matériel de guerre et de l'outillage *ad hoc*.

Tout en intensifiant autant que possible la production de leurs chantiers navals, les puissances de l'Entente et les Etats neutres ont recherché s'il n'existait pas un mode de construction permettant de supprimer, partiellement, ou même complètement, l'emploi des tôles et des profilés d'acier pour l'établissement des coques et des ponts de navires ou de chalands fluviaux.

Aux Etats-Unis, on a eu recours au bois et plus de deux cents cargos à vapeur, ou munis de moteurs à combustion interne, sont actuellement sur cale dans les divers chantiers de l'Union. Cette solution a ses partisans et ses détracteurs. On sait, en effet, que le général Gœthals, ancien chef du département des Constructions navales destinées à la Marine de commerce, a donné sa démission de cette charge, par suite des divergences d'opinion qui s'étaient élevées entre lui et certaines personnalités au sujet de l'opportunité de la construction d'une flotte importante de navires en bois, comportant environ six cents unités nouvelles.

On assiste dans ce cas à un retour à un ancien état de choses, quelque peu modifié, il est vrai, puisqu'il s'agit aujourd'hui de navires à propulsion mécanique et non de voiliers. Les coques des cargos actuels sont très différentes de celles des vieux clippers ou longs courriers à voiles et il a fallu complètement transformer les formes des anciennes pièces de bois que l'on utilisait autrefois dans la construction des schooners et des goélettes de charge. Il serait donc intéressant, dans l'état actuel de la question des constructions navales, de trouver un système répondant aux conditions si complexes et si variées d'un pareil problème. Il s'agit de découvrir une matière facile à obtenir très rapidement sans main-d'œuvre nombreuse ni spéciale, capable de résister



CHALAND EN CIMENT ARMÉ DE LA SOCIÉTÉ DES GRANDS BASSINS DU PORT DE TOULON

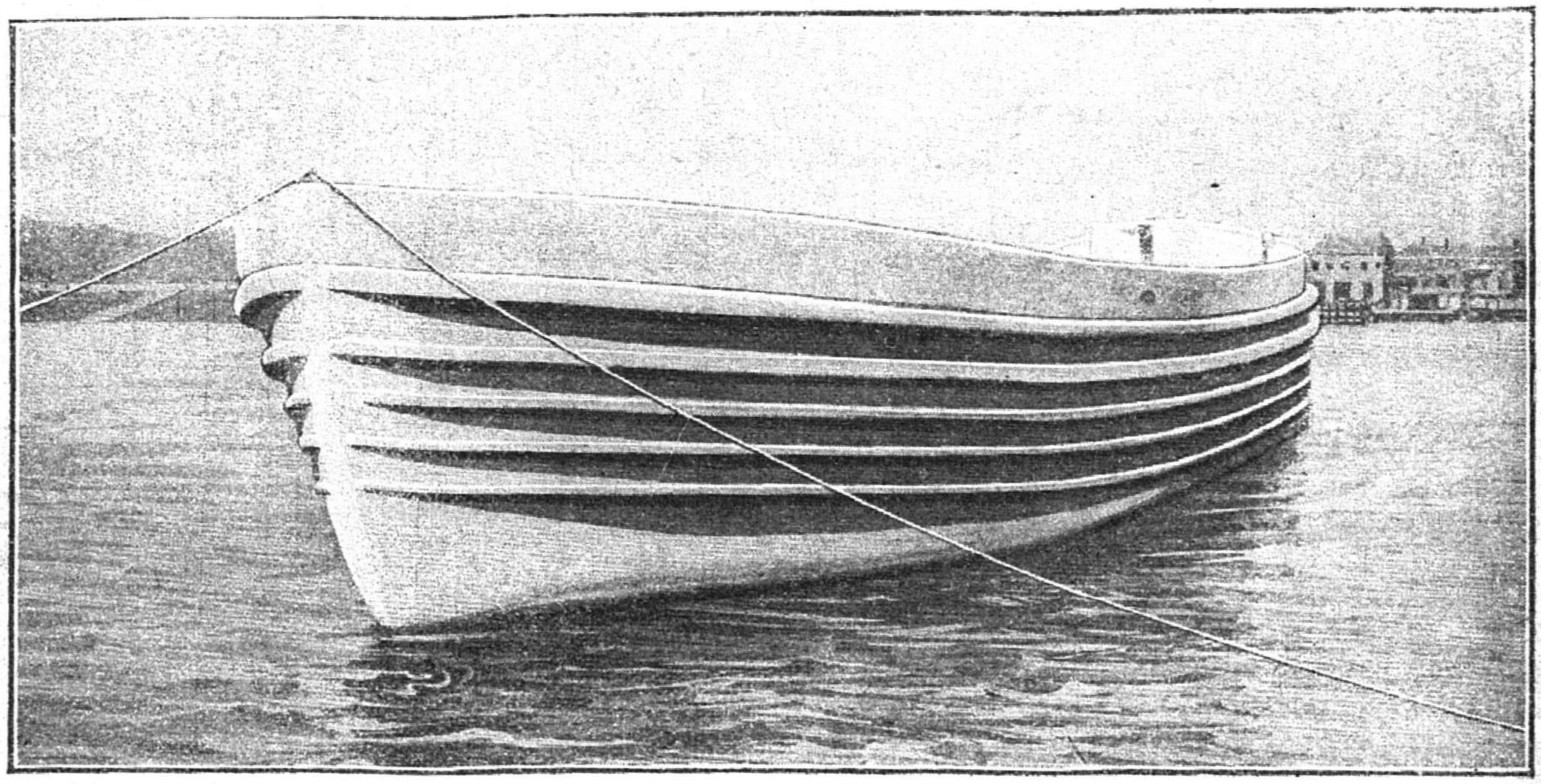
On remarquera la rangée de nervures extérieures obliques destinées à renforcer la coque et à la protéger efficacement dans les heurts de bord à bord qui se produisent au cours des manœuvres.

aux chocs et de donner des coques suffisamment légères pour assurer une bonne flottabilité dans toutes les circonstances.

Les experts navals, que cette question passionne, ont eu l'idée de reprendre une ancienne proposition faite en France vers 1848 par l'ingénieur Lambot qui, le premier, a réalisé un bateau en ciment armé solide, se trouvant, paraît-il, aujourd'hui encore en bon état de conservation. Bien que cela puisse paraître paradoxal, on voit que l'utilisation du béton armé dans les constructions navales a précédé l'emploi de cette matière dans les édifices terrestres.

Actuellement, le béton armé s'obtient rapidement à des prix beaucoup moins élevés que ceux auxquels donnent lieu les charpentes métalliques. En principe, pour des chalands de rivière, le poids des aciers ronds entrant dans l'édification d'une coque de béton armé représente environ le dixième du poids des aciers profilés spéciaux nécessaires pour un chaland de tôle d'acier.

A la suite d'insuccès dus à une insuffisance d'épaisseur des parois des coques, on a renoncé à faire des bateaux légers en ciment armé. Un bordé mince offre le double inconvénient d'être fragile et de ne résister



BATEAU PORTEUR CONSTRUIT A LA SEYNE POUR LE PORT DE MARSEILLE

Ici, on a eu recours à des renforcements longitudinaux pour mieux assurer la rigidité de la coque.

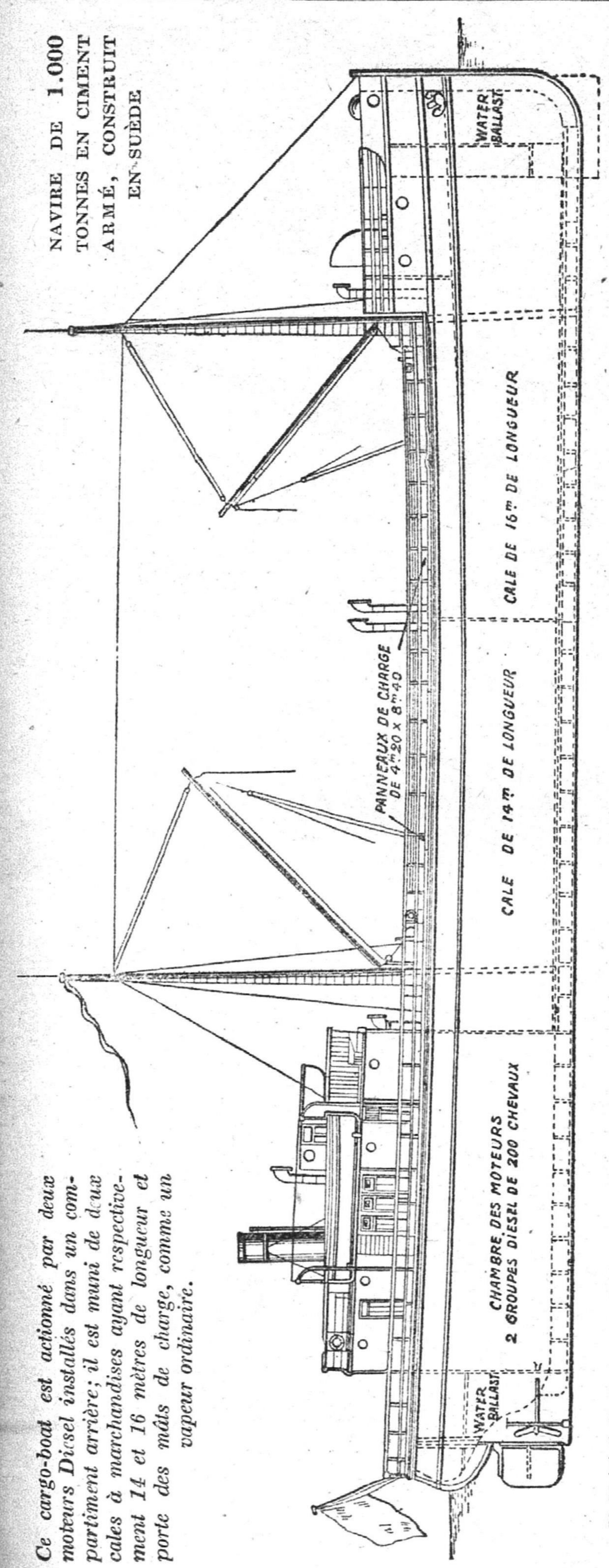
En France, la maison Hennebique et en Italie la firme Gabellini ont établi, vers 1900, des coques et des pontons de béton armé. Ces derniers étaient très lourds et leur poids propre dépassait notablement le poids utile transporté. Il s'agissait, à cette époque, d'essais limités et l'on n'avait pas acquis une pratique suffisante dans le calcul scientifique des pièces de béton armé pour qu'il fût permis d'appliquer ce mode de construction à l'établissement de coques de navires sans avoir d'accidents à redouter.

Aujourd'hui, la question a changé de face. Les nombreuses applications du béton armé à des constructions de tous genres et surtout à des ponts de très grande ouverture, ont fait progresser rapidement les méthodes de calcul indispensables pour l'obtention de pièces capables de résister à de grands efforts, aussi bien sur terre que sur mer.

ni aux chocs ni aux efforts de cisaillement très considérables auxquels il est soumis lorsqu'il se trouve posé sur les crêtes des vagues. On sait que, dans ce cas, la carcasse d'un navire peut être assimilée à la charpente métallique qui constitue un pont appuyé sur des piles fondées en rivière.

L'expérience faite sur des pontons immergés dans l'eau de mer pendant de longues années a montré que les coques de béton armé pouvaient durer très longtemps si elles étaient construites dans de bonnes conditions. On a reconnu, cependant, que leur destruction pouvait être, au contraire, très rapide quand les ciments employés contenaient de la magnésie. L'eau de mer renfermant une forte proportion de chlorure de sodium, il se produit entre les deux métaux un phénomène de déplacement tellement accusé qu'il a lieu même dans l'eau

NAVIRE DE 1.000 TONNES EN CIMENT ARMÉ, CONSTRUIT EN SUÈDE



Ce cargo-boat est actionné par deux moteurs Diesel installés dans un compartiment arrière; il est muni de deux cales à marchandises ayant respectivement 14 et 16 mètres de longueur et porte des mâts de charge, comme un vapeur ordinaire.

de rivière, ainsi qu'on l'a constaté en Suisse, où d'importants barrages établis en ciment armé n'ont pu résister à l'action de l'eau des torrents qu'ils étaient chargés de retenir. On a constaté depuis longtemps que, pour offrir une faible résistance à la marche, une coque de navire devait être aussi lisse que possible. Or, le ciment armé permet d'obtenir très facilement ce résultat sans adjonction d'aucune peinture ni enduit, ce qui n'est pas le cas de l'acier, difficile à préserver.

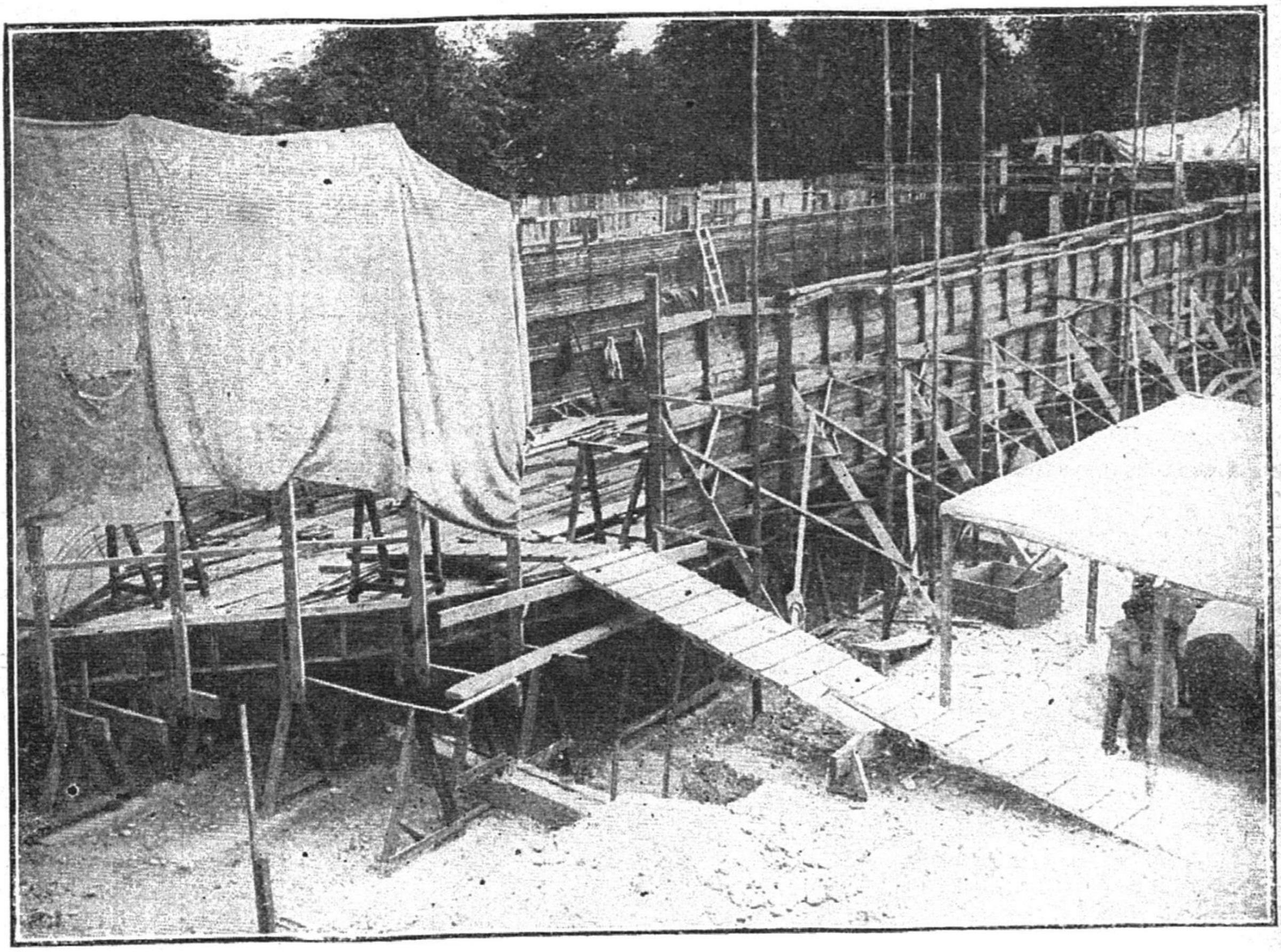
Depuis l'ouverture des hostilités, les puissances neutres européennes n'ont pu donner à leurs constructions navales toute l'ampleur désirée parce qu'elles manquaient des tôles et des profilés nécessaires dont l'Angleterre ou l'Allemagne ne pouvaient plus les approvisionner. Les Etats scandinaves, notamment, ont accueilli avec faveur les propositions des ingénieurs qui se sont efforcés d'établir des coques de navires en béton armé.

Déjà, en 1911, une maison danoise avait établi un chaland de 27 tonnes qui avait donné d'assez bons résultats. On avait cru devoir garnir l'intérieur de revêtements de bois et la coque était protégée extérieurement des chocs par des défenses de chêne fixées au moyen de forts boulons.

Le gouvernement danois, encouragé par ce premier essai, avait commandé une série de pontons destinés à l'établissement d'un pont flottant. L'expérience semblait avoir réussi, lorsqu'au cours d'une nuit de tempête un des pontons fut heurté par un espar qui s'était introduit sous l'action des vagues, entre la coque et un mur de quai. Il en résulta une voie d'eau considérable, et le ponton coula, entraînant à sa suite non seulement les autres pontons, mais encore l'ouvrage tout entier.

Un bateau de plaisance en ciment armé, mû par un moteur à pétrole, a circulé en Allemagne, à Stettin. La coque était raidie par des cloisons étanches qui la divisaient en quatre compartiments et le moteur reposait sur des madriers fixés sur une fondation de ciment. Cet exemple a, d'ailleurs, été imité en Hollande, en Suisse, en Russie et aussi en France, à Saint-Raphaël, dans le Var.

Les Norvégiens, dont la flotte com-



CHALAND FLUVIAL EN CIMENT ARMÉ EN COURS DE CONSTRUCTION

On voit que le mode d'établissement du bordé et des nervures de renforcement est identique à celui qu'appliquent nos cimentiers parisiens pour l'édification des immeubles en ciment armé.

merciale a été si éprouvée par la guerre sous-marine, ont repris tous ces essais et ont appliqué aux calculs rationnels des coques des méthodes instituées pour l'établissement des édifices terrestres. La Compagnie Fougner de Moss a, paraît-il, obtenu du gouvernement norvégien l'autorisation d'entreprendre la construction de deux navires de 600 et de 1.000 tonnes sans attendre que la Commission des navires en ciment armé ait déposé son rapport.

Les navires en question sont étudiés avec un coefficient de sécurité d'environ 20 % par rapport aux dimensions que l'on aurait données aux pièces d'acier correspondantes, mais, cependant, le poids du navire ne sera pas augmenté d'autant par rapport à celui d'une coque métallique ordinaire.

Ces navires comportent quatre cales, des doubles fonds et des water-ballasts de ciment armé à l'avant et à l'arrière. Le bâtiment de 1.000 tonnes a 51 mètres de longueur, 9 m. 50 de largeur et 5 m. 50 de creux. L'administration a exigé que des précautions spéciales fussent prises en ce qui concerne l'agencement des engins de sauvetage ; des essais rigoureux auront lieu avant que les chantiers soient autorisés à livrer les bâtiments aux armateurs propriétaires.

On a copié pour l'établissement des formes des deux coques les chalands qui circulent en grand nombre sur les canaux suédois et norvégiens ; la force motrice nécessaire à la propulsion est fournie par deux moteurs Bolinder à pétrole brut, de 200 chevaux chaque commandant chacun une hélice.

Signalons que les chantiers scandinaves trouvent avantageux de construire ces navires spéciaux la quille en l'air et de les lancer de même. Une fois le navire à l'eau, on vide la coque dont les écoutilles sont soigneusement fermées et le bâtiment reprend sa position naturelle sans avoir subi d'avaries.

Avant d'autoriser les chantiers danois à se lancer dans ce genre de constructions, le gouvernement a tenu à ce que des règles précises fussent édictées à cet effet. Le règlement, élaboré par M. E. Suenson, professeur à l'Ecole supérieure polytechnique de Copenhague, s'applique aux petits navires en

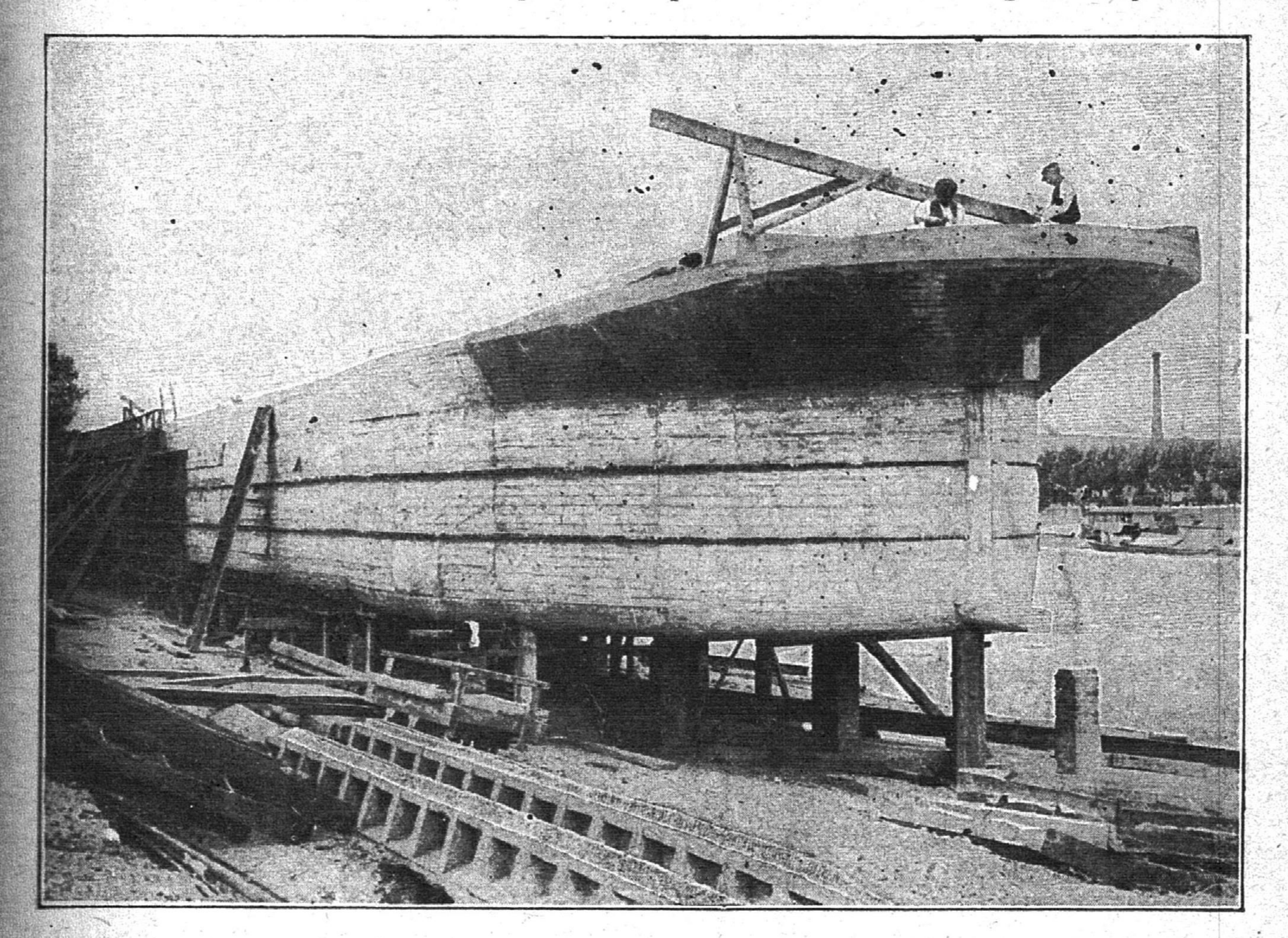
ciment armé à fond plat, afin de procéder à des essais progressifs et d'éviter les accidents.

L'épaisseur du bordé et des fonds doit être au minimum de 70 millimètres, et les dalles plates, ayant moins de 8 centimètres doivent être considérées comme reposant simplement sur un appui, à moins qu'elles ne soient armées en continuité, de manière à les rendre capables de supporter des efforts de flexion dans les deux sens.

L'effort de traction toléré pour le métal ne doit pas excéder 13 kilos par millimètre carré et les efforts de compression imposés au ciment armé doivent correspondre à un coefficient de sécurité de 7, soit 600 grammes par millimètre carré au maximum. Quand l'effort de cisaillement calculé dépasse un dixième de la compression, il doit être complètement absorbé par la partie métallique noyée dans la masse de pierre.

Malgré les avantages que l'on réclame en faveur des coques de béton armé, il semble cependant que les constructeurs soient d'accord pour donner au bordé une épaisseur qui représente environ six fois celle des tôles d'acier que l'on emploierait dans le même cas. Ainsi, une plaque d'acier de 12 millimètres est remplacée par une muraille de béton de 72 millimètres. Le poids moyen du béton armé étant de 2.500 kilos par mètre cube, alors que celui du fer est de 7.500 kilos, la coque de ciment pèsera donc deux fois plus que celle d'acier, en ce qui concerne le bordé. On peut simplement réaliser une économie appréciable sur le poids du renforcement transversal, beaucoup moins important dans le cas du ciment que dans celui du métal, malgré la densité différente.

Il résulte de ce fait que les parties extrêmes du navire, généralement affinées pour faciliter la propulsion, pèseront beaucoup plus que la quantité d'eau qu'elles déplacent lorsque le bâtiment navigue sur lest. La poutre constituée par la coque sera ainsi sollicitée à ses deux extrémités par des forces verticales dirigées de haut en bas, qui tendront à la briser en deux dans sa partie médiane. On sera donc obligé de renforcer considérablement les ponts pour leur permettre de résister aux efforts créés par cette condition défavorable. La difficulté du problème est encore augmentée par cette



VUE EXTÉRIEURE DE LA COQUE D'UN CHALAND EN CIMENT ARMÉ

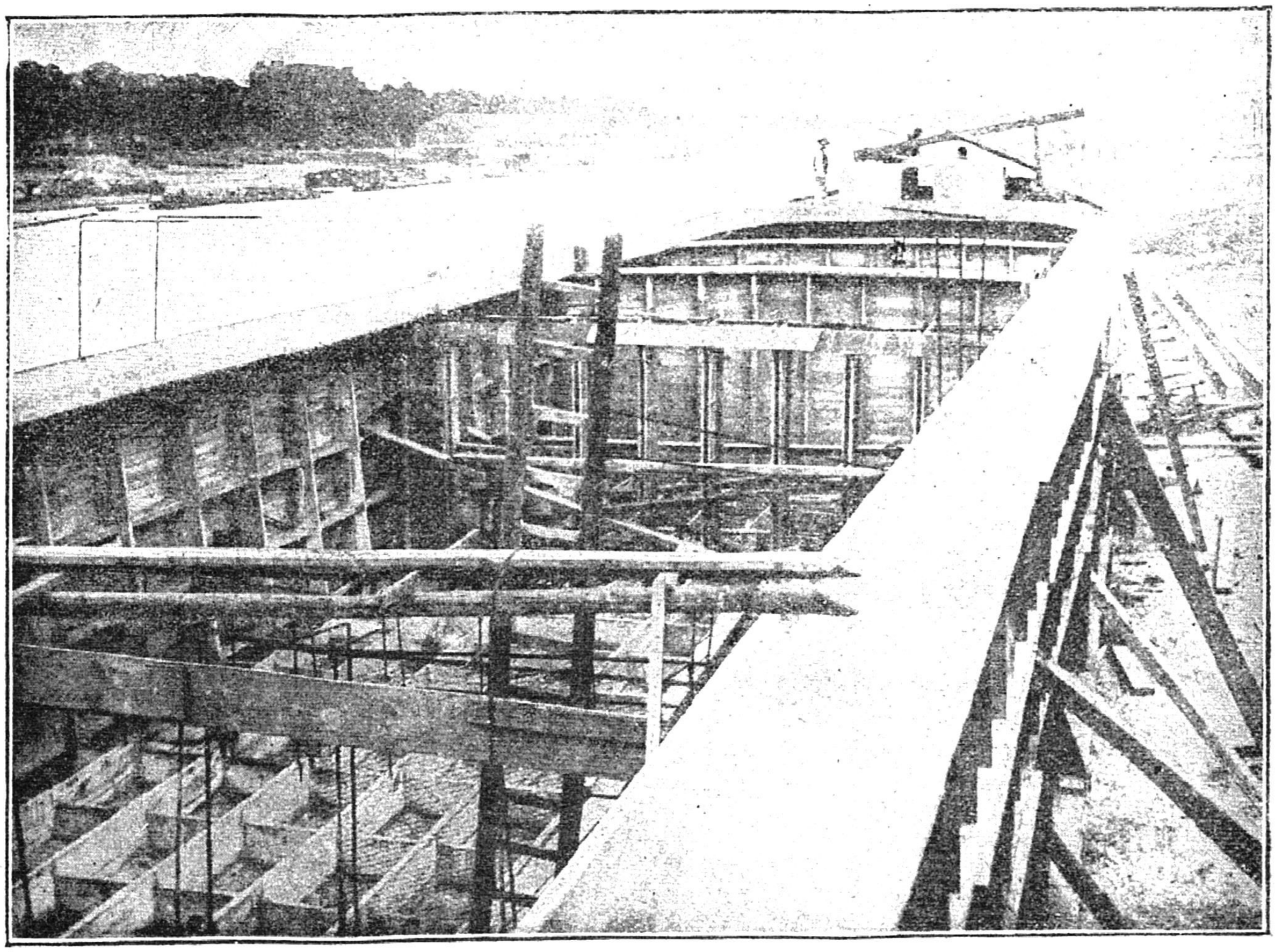
Les chantiers où se construisent les navires en ciment armé sont très simples et n'exigent pas la création d'ateliers annexes de forge ou de mécanique.

circonstance que les ponts sont affaiblis par la présence des panneaux servant à l'introduction des marchandises dans les cales.

Malgré toutes ces difficultés, les pouvoirs publics ont décidé la construction de chalands de béton armé destinés à naviguer sur la Seine entre le Havre et Paris. Ces bâtiments sont de deux types. Le petit modèle a 43 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et 3 mètres de tirant d'eau, avec un déplacement total d'environ 750 tonnes qui lui permet de porter en lourd de 500 à 550 tonnes. Les marchandises transportées sont reçues dans des cales qui peuvent être au nombre de deux ou de trois ; ce dernier dispositif, moins commode pour l'arrimage et les manutentions, est préférable parce qu'il comporte l'existence de deux cloisons importantes servant à renforcer très notablement la résistance transversale de la coque.

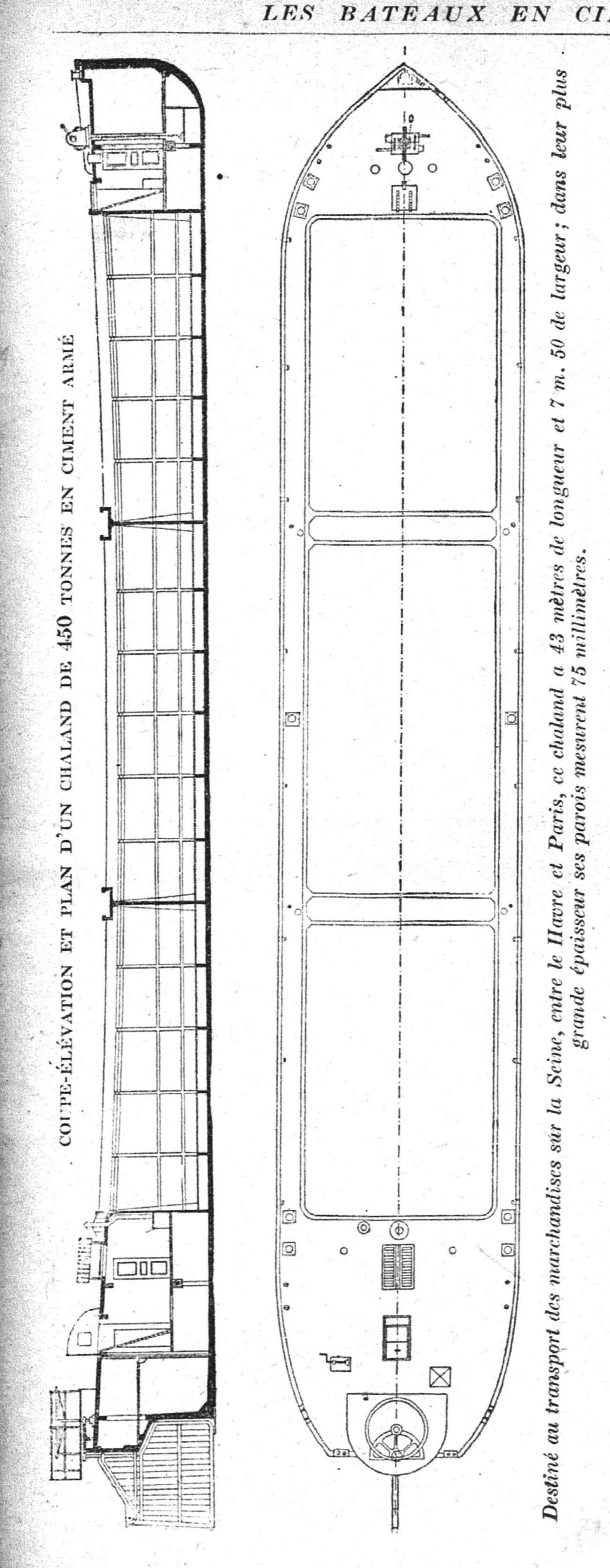
On a créé également un modèle de chaland déplaçant 1.350 tonnes et pouvant porter en lourd un millier de tonnes. Dans ce cas, on a porté la longueur à 70 mètres et la largeur à 8 mètres, le tirant d'eau maximum restant fixé à 3 mètres à cause de l'état d'approfondissement actuel du lit de la Seine.

Les figures des pages 423 et 424 donnent les coupes longitudinale et transversale des chalands de Seine de 45 mètres, construits par la Société « le Matériel flottant ». Les parois ont une épaisseur de 75 millimètres, qui permettra d'obvier aux inconvénients présentés jusqu'ici par les coques plus minces que l'on a essayé d'établir dans le même but. La membrure de ces chalands est constituée par un robuste quadrillage de couples et de carlingues sur lequel s'appuient les dalles de fond et les murailles. Chaque couple est calculé en le supposant formé d'une droite horizontale et de deux droites verticales figurant une sorte de cadre à trois branches renversé et terminé par deux consoles correspondant aux écoutilles. Les deux angles inférieurs de ce rectangle sont considérés comme encastrés et les angles supérieurs comme articulés, ce qui est aussi l'hypothèse admise par la commission danoise



INTÉRIEUR D'UN GRAND CHALAND FLUVIAL EN CIMENT ARMÉ

On se rend compte comment le bordé est renforcé par des nervures longitudinales qui relient les couples. Le fond est constitué de même par un solide cloisonnement d'arêtes longitudinales et transversales.



COUPE-ÉLÉVATION ET PLAN D'UN CHALAND DE 450 TONNES EN CIMENT ARMÉ

Destiné au transport des marchandises sur la Seine, entre le Havre et Paris, ce chaland a 43 mètres de longueur et 7 m. 50 de largeur ; dans leur plus grande épaisseur ses parois mesurent 75 millimètres.

des constructions flottantes en béton armé. Les dalles de fond sont établies suivant le principe de la continuité ; elles résistent ainsi à la poussée extérieure de l'eau ; on n'a pas admis de compensation pour la charge intérieure, car les marchandises qui constituent cette dernière ne reposent pas directement sur les dalles et elles peuvent n'exercer aucune poussée sur les bordés.

La difficulté que nous avons signalée plus haut en ce qui concerne les extrémités relativement fines de ces chalands, dont l'avant et l'arrière ne déplacent pas leur propre poids, se sont déjà présentées dans le cas de la construction des cuirassés modernes, dont la grosse artillerie est logée dans des tourelles extrêmes pesant des milliers de tonnes.

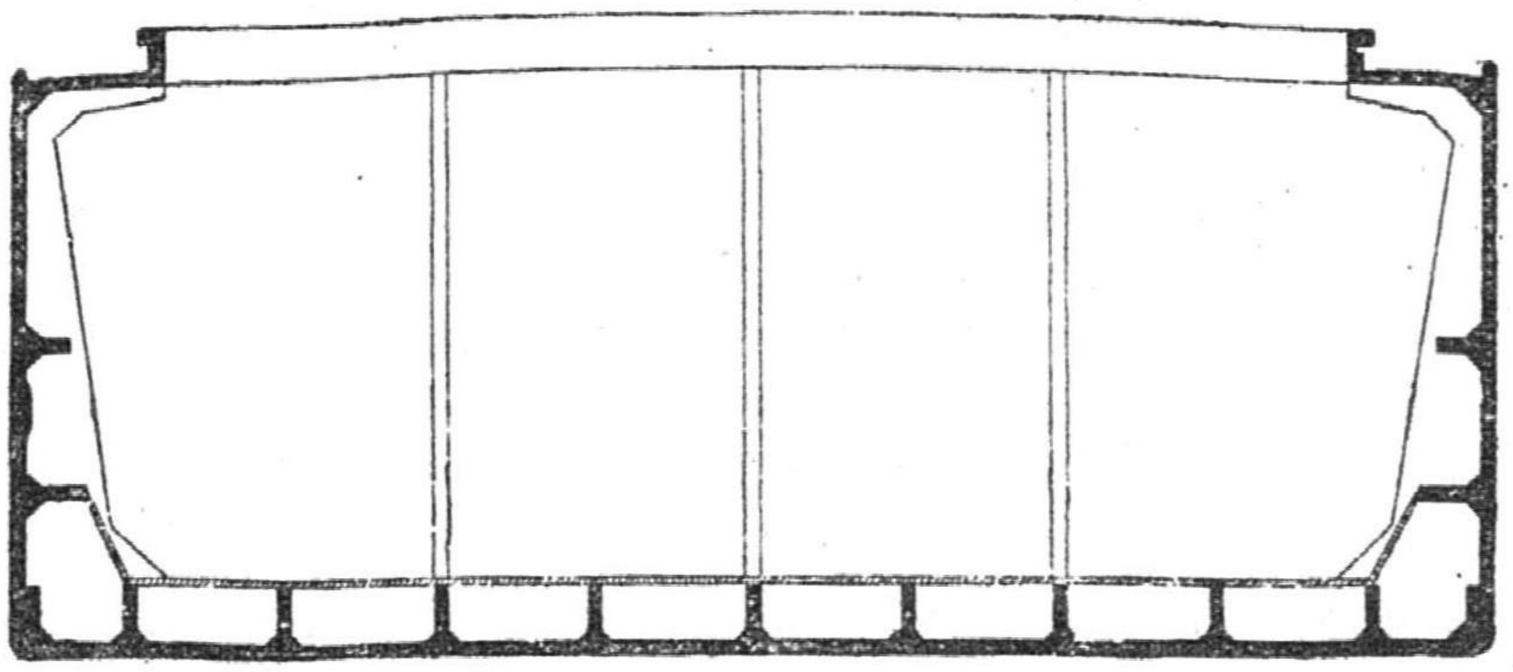
On a donc été amené à créer, pour les bâtiments de guerre, des coques très longues aux murailles parallèles, la proue et la poupe étant très fines et symétriques. Les fonds sont constitués par des plates-formes formées de caissons multiples correspondant à une vraie construction cellulaire.

C'est en utilisant ces résultats ainsi que ceux des essais théoriques et pratiques exécutés sur des solides élémentaires remorqués au sein d'un liquide que M. Hennebique a fait breveter récemment un système de bateau à formes symétriques rationnelles dont la structure et le mode de construction sont complètement nouveaux. Les figures pages 424 et 425 montre en plan la forme symétrique absolue de la coque par rapport à ses axes longitudinal et transversal, ce qui a pour but d'assurer le minimum de résistance de l'eau à la progression horizontale du navire. Il a, en effet, été reconnu par des essais multiples qu'une coque constituée par un rectangle très allongé terminé à ses deux extrémités par des triangles isocèles dont l'angle au sommet est très petit, absorbe beaucoup moins de force propulsive qu'aucune autre.

Au point de vue de la solidité, il y a intérêt à réaliser un navire monolithe indéformable dont les murailles et les cloisons aussi bien longitudinales que transversales soient disposées perpendiculairement les unes

aux autres dans toute la hauteur, jusques et y compris le pavois et les bastingages.

Afin d'empêcher le chavirement du bateau et de maintenir, par conséquent, en permanence son centre de gravité très au-dessous de son centre de carène quand il est vide, on emploie, dans la proportion de 1 à 4, des matériaux de densités différentes tels que le bois de chêne et le béton armé. Ces deux éléments sont réunis d'une manière inébranlable par des chevilles métalliques munies de quatre cannelures longitudinales et d'une tête avec dispositif d'arrêt à deux ailettes. Cette cheville métallique ou gournable, est noyée dans le bois avec du ciment suffisamment fluide injecté préalablement dans un trou cylindrique de diamètre convenable. Le ciment, refoulé par la cheville pendant le mouvement de pénétration de cette dernière, se trouve comprimé entre le bois qu'il imprègne et le métal qu'il enveloppe ; on réalise ainsi l'adhérence complète entre les deux matériaux, tout en préservant l'acier de la cheville. La gournable s'incorpore à la masse dont elle devient en peu de temps partie intégrante et unit le bois au béton armé *d'une manière* inébranlable.

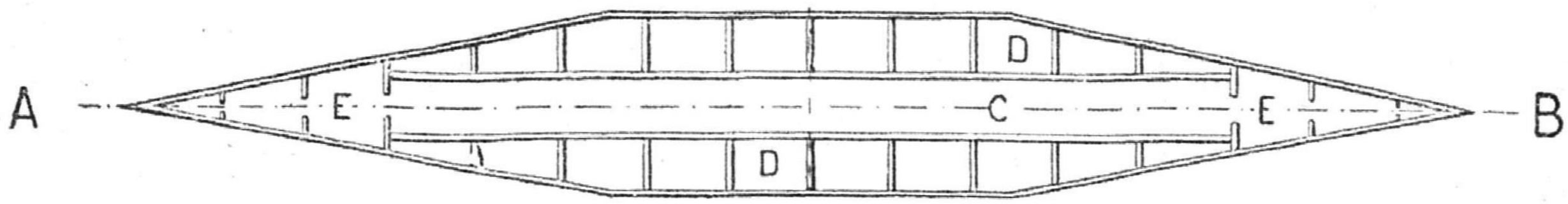


COUPE TRANSVERSALE D'UN CHALAND FLUVIAL EN CIMENT ARMÉ, POUR LE SERVICE PARIS-HAVRE

Comme le montre la figure ci-dessus, il existe, tout du long du navire, un couloir longitudinal dont la partie supérieure forme un chemin de roulement sur lequel pourra se déplacer une grue de déchargement qui prendra les marchandises dans les cales pour les placer directement sur le sol des entrepôts ou des quais. Ce dispositif permettra de rendre le navire indépendant des appareils de levage fixes des quais et de réduire au minimum son séjour dans les bassins des ports.

Le mode de propulsion d'un pareil navire a été étudié de manière à réduire au minimum la puissance des machines motrices. A chaque extrémité de la coque est placée une hélice à deux pales planes, disposées sous un angle de 45°, afin de réaliser le maximum d'action utile propulsive avec le minimum de réaction de l'eau déplacée.

On voit que dans la construction de la coque, on a supprimé toutes les parties courbes, de sorte qu'elle se compose uniquement d'éléments rectangulaires en bois de chêne et de rectangles de ciment armé. Ce mode de construction simplifie, jusqu'aux dernières limites du possible, l'outillage des chantiers navals et les bois nécessaires pourront être même débités en pleine forêt par des manœuvres, au moyen de scies mécaniques. De simple coffrages à faces parallèles suffiront pour l'établissement de la coque de ciment armé et l'on évitera ainsi les frais élevés nécessités par les surfaces courbes que comportent les coques des navires ordinaires en tôle d'acier.



VUE EN PLAN D'UN NAVIRE EN CIMENT ARMÉ A FORMES SYMÉTRIQUES

Ce bâtiment, étudié par M. F. Hennebique, est établi suivant le principe de la construction cellulaire afin d'obtenir une coque solide rendue inchavirable par l'emploi simultané du béton et du bois. Les extrémités A *et* B *sont absolument symétriques. La coque à murailles parallèles est constituée par une série de caissons étanches* D, D, E, E, *laissant subsister entre eux un couloir* C *dont l'arête supérieure sert de chemin de roulement aux grues de manutention des marchandises.*

Un bateau ayant 80 m. 50 de longueur, 11 m. 40 de largeur et 5 m. 50 de hauteur, absorbera 400 mètres cubes de bois pesant 400 tonnes (y compris les clous et les ferrures) 150 mètres cubes de béton armé représentant 375 tonnes et 142 tonnes d'armement (moteurs, rails de roulement, grues de manutention, etc.). Le poids total de la coque vide sera donc de 917 tonnes et le déplacement, avec un enfoncement de 3 m. 25, sera de

1 917 tonnes, d'où un surplus de 1.000 tonnes disponible pour le fret. Ajoutons que la hauteur de la coque au-dessus de la flottaison n'étant que de 2 m. 25, sa visibilité en mer sera très atténuée. D'autre part, la partie immergée, qui n'a que 3 m. 25 de hauteur, sera entièrement située au-dessus de la trajectoire des torpilles. Si l'on veut imprimer à un tel navire une vitesse de 5 mètres à la seconde, soit 18 kilomètres à l'heure, il suffira de deux moteurs de 200 chevaux. Pour atteindre une vitesse de 10 mètres, il faudrait quatre fois plus, c'est-à-dire 1.600 chevaux, ce qui est très peu, étant donné l'importance du poids disponible pour le fret qui est de 1.000 tonnes, alors qu'il ne serait que de 500 tonnes dans un cargo d'acier exactement de mêmes dimensions.

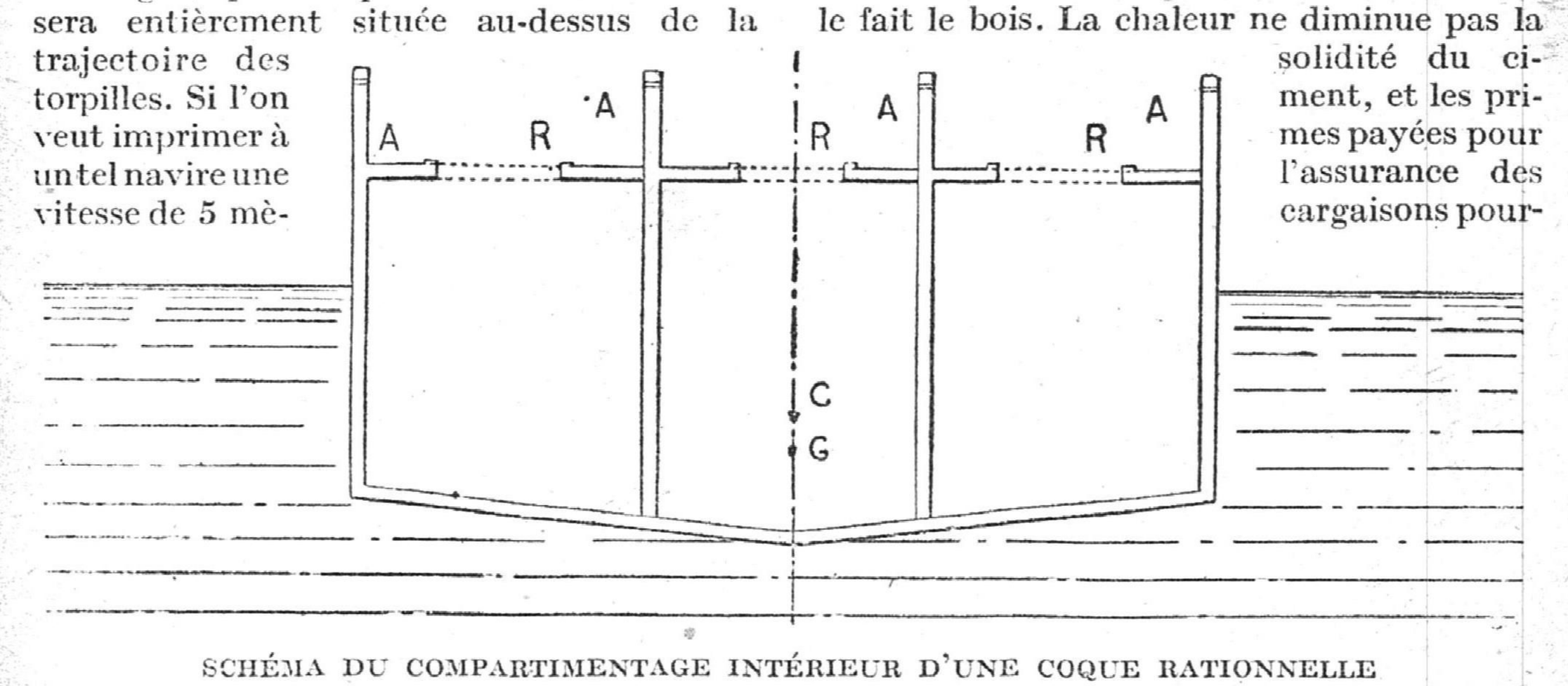
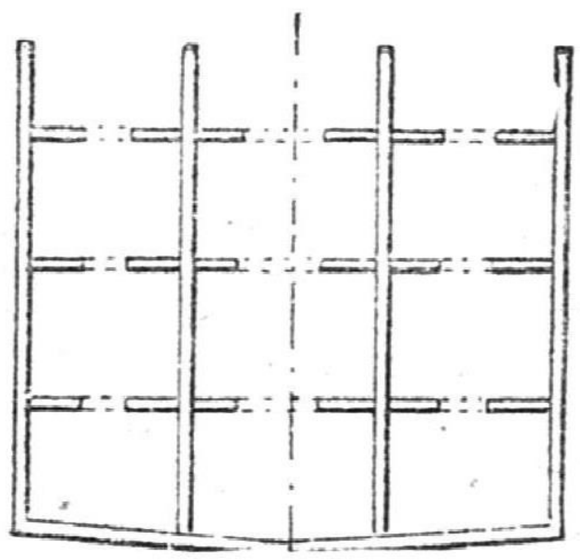


SCHÉMA DU COMPARTIMENTAGE INTÉRIEUR D'UNE COQUE RATIONNELLE

Les murailles A A *sont absolument verticales et parallèles, de même que les cloisons intérieures* AA *percées d'écoutilles* RR. *Le centre de gravité* G *du navire est placé, même à vide, au-dessous du centre de carène* C, *ce qui assure la stabilité de la coque.*

Un bateau de 100 mètres, ayant même largeur et même hauteur que le précédent, pèserait, à vide, 1.200 tonnes et en déplacerait 2.700, ce qui fournirait pour le fret un tonnage disponible de 1.500 tonnes. La force motrice nécessaire n'étant pas plus considérable pour le bateau de 100 mètres que pour celui de 80, on voit quelle économie d'exploitation on peut atteindre avec cet intéressant système de construction.



VUE DES PONTS SUPERPOSÉS D'UN NAVIRE SYSTÈME HENNEBIQUE

Une remarque très importante au point de vue des intérêts des armateurs est la diminution des cas d'incendie, qui sont si fréquents avec les navires en bois et même en acier. Les flammes qui se produisent lors d'un incendie de cale portent au rouge les tôles et les autres éléments métalliques de la coque. Celle-ci, se déformant sous l'action de la chaleur et sous l'influence des dilatations, et la résistance du métal diminuant dans de fortes proportions, il s'ensuit qu'un navire incendié est très souvent un bâtiment perdu. Le ciment armé résiste, au contraire, au feu et ne lui fournit pas un aliment comme le fait le bois. La chaleur ne diminue pas la solidité du ciment, et les primes payées pour l'assurance des cargaisons pourraient ainsi être fortement diminuées pour le plus grand profit des armateurs.

Les voies d'eau produites par les chocs contre les quais ou par les abordages sont aussi facilement réparables dans le cas d'une coque en ciment que dans le cas d'un bâtiment en bois ou en acier. On peut aveugler l'ouverture avec des cadres de bois dans lesquels on bourre du ciment hydraulique à prise rapide et où l'on insère, au besoin, des barres d'acier. La blessure se referme ainsi très rapidement, presque sans main-d'œuvre spéciale et sans frais.

En résumé, il est permis de penser que l'emploi du béton armé dans les constructions navales ne disparaîtra pas avec les circonstances actuelles comme le croient certains spécialistes. On peut espérer, au contraire, que les fabricants de ciment trouveront le moyen d'augmenter considérablement la résistance de leurs produits, de même que les métallurgistes ont réussi à doubler celle de l'acier. Quand ce résultat sera obtenu, on aura des coques de béton armé presque aussi légères que celles d'acier et le succès de ce mode de construction sera complet.

CHARLES VIRETON,